

Effizienzpotenziale durch die neuen Hauptenergieträger Sonne und Wind



Fraunhofer IWES
 Prof. Dr. Jürgen Schmid
 juergen.schmid@iwes.fraunhofer.de

Dr. Matthias Günther
 matthias.guenther@iwes.fraunhofer.de

Dr. Carsten Pape
 carsten.pape@iwes.fraunhofer.de

Fraunhofer IBP
 Dr. Rolf-Michael Lükking
 rolf-michael.lueking@ibp.fraunhofer.de

Die zwei wichtigsten Säulen der Energiewende sind die Steigerung der Energieeffizienz und der weitere Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Um ein nachhaltiges Energiesystem zu gestalten, müssen beide Zielsetzungen, Energie effizienter einzusetzen und die fossil/nuklear basierte Energiegewinnung zunehmend durch eine regenerativ basierte zu ersetzen, verfolgt werden. Diese zwei Zielsetzungen sind aber nicht nur jeweils für sich konstitutive Bestandteile der Energiewende, sondern sie stehen vielfältig miteinander in Beziehung. Ein wichtiger Synergieeffekt ist, dass die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zu einer gewaltigen Effizienzsteigerung im Energiesystem führen kann.

Über die letzten zwanzig Jahre ist die Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Deutschland bereits stark angewachsen. Vor dem Hintergrund dieser Dynamik erscheint das im Energiekonzept der Bundesregierung verankerte Ziel erreichbar, bis 2050 60% des Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Quellen zu decken.

Eine andere Zielmarke, nämlich den Primärenergiebedarf bis 2050 um 50% zu senken, scheint hinge-

gen auf den ersten Blick wesentlich schwieriger zu erreichen. Die Energieproduktivität müsste dazu jährlich um etwa 2% steigen. Ein Blick in die Vergangenheit zeigt aber, dass schon jährliche Steigerungsraten von 1% nur schwer zu erreichen waren. Ist eine Reduktion des Primärenergiebedarfs um die Hälfte bis zur Mitte des Jahrhunderts also illusionär?

Dieses ehrgeizige Ziel kann durchaus erreicht werden. Neben den vielen einzelnen Effizienzmaßnahmen, die in den verschiedenen Bereichen des Energiesystems und der Energienutzung sinnvoll durchgeführt werden können, muss vor allem auch eine umfassende, äußerst wirksame Maßnahme berücksichtigt werden: der weitere Ausbau der erneuerbaren Energien. Denn durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien können enorme Effizienzgewinne erlangt werden. Werden diese Effizienzgewinne berücksichtigt, wird sichtbar, dass der Primärenergiebedarf tatsächlich drastisch gesenkt werden kann.

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung des Primärenergieverbrauchs nach einem Szenario, das in [BMU 2012] entsprechend den Rahmenbedingungen des Energie-

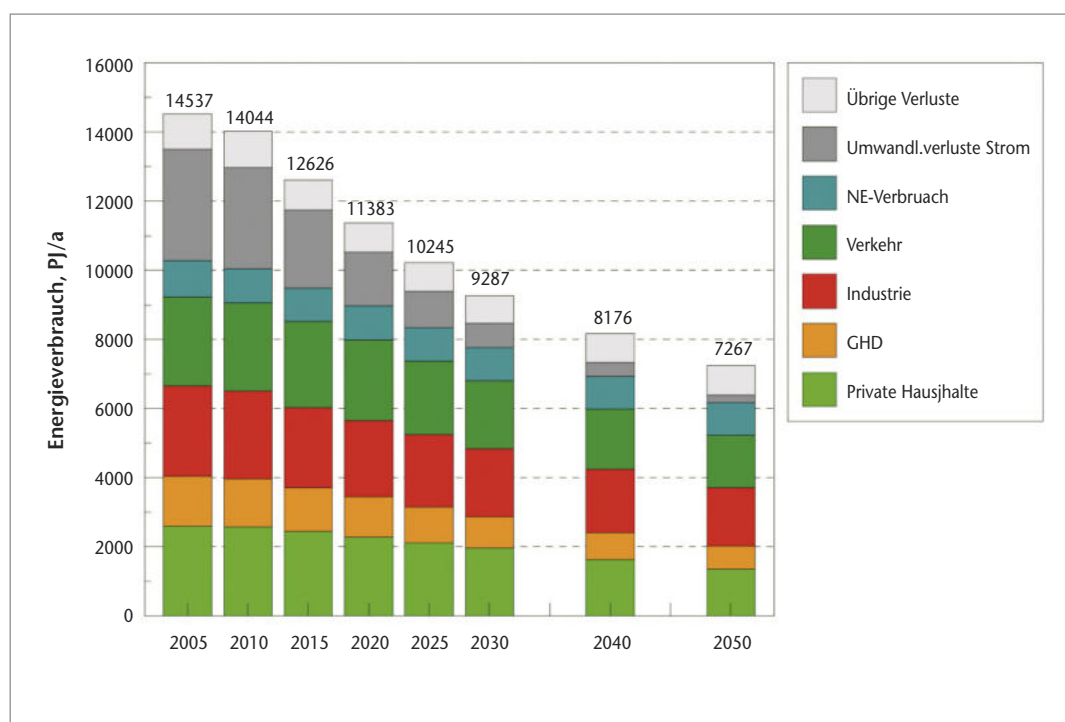


Abbildung 1
 Primärenergieverbrauch
 bis 2050
 nach einem Szenario aus
 BMU 2012

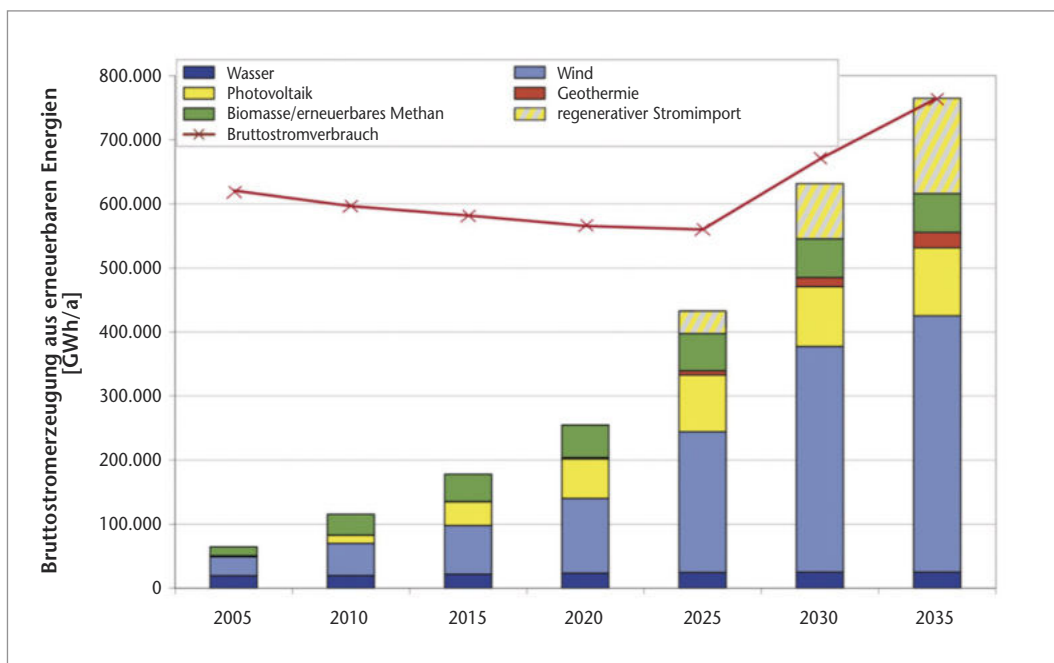


Abbildung 2
 Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen
 Quelle: ZSW

konzepts der Bundesregierung entwickelt wurde. Die starke Reduktion des Primärenergieverbrauchs bis 2050 wird dabei nicht ausschließlich dadurch erreicht, dass effizientere Anlagen und Geräte in Industrie und Haushalten verwendet werden oder dass der Wärmebedarf z. B. durch die Verbesserung des energetischen Gebäudestandards stark sinkt. Effizienzgewinne werden zusätzlich dadurch erreicht, dass die Energiegewinnung auf erneuerbare Energien umgestellt wird.

Ein großer Teil der Verbrauchsreduktion ist erzielbar, indem man die Umwandlungsverluste bei der Stromerzeugung minimiert. In fossil betriebenen thermischen Kraftwerken geht ein großer Teil der eingesetzten Primärenergie als Abwärme verloren. Dieser Verlust lässt sich reduzieren, indem entweder die Abwärme in der Kraft-Wärme-Kopplung genutzt wird oder aber indem sie von vornherein vermieden wird. Letzteres kann erreicht werden, indem der Strom in Windkraftanlagen, PV-Anlagen oder Wasserkraftwerken gewonnen wird. In diesen Anlagen geht keine Primärenergie als Abwärme verloren. Institute des Forschungsverbunds Erneuerbare Energien haben ein Szenario entwickelt, in dem die Energieversorgung bis zum Jahr 2050 vollständig regenerativ geleistet wird [FVEE 2010]. *Abbildung 2* zeigt die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien, wie sie sich in diesem Szenario darstellt.

Mit einem solch starken Anstieg der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen, werden nicht nur die Emissionen von CO₂, sondern auch der Primärenergiebedarf stark reduziert.

Es fällt auf, dass bei einem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien der Primärenergiebedarf zunächst stark abnimmt, dann aber bei sehr hohen Anteilen erneuerbarer Energien kein weiterer Effizienzgewinn zu erwarten ist. Dass die Kurve des Primärenergiebedarfs abflacht, liegt daran, dass bei hohen Anteilen der Stromerzeugung durch erneuerbare Energien mehr Speicheraufwand betrieben werden muss, um Strombereitstellung und -nachfrage aufeinander abzustimmen. Sonne und Wind, auf denen ein Großteil der Stromerzeugung beruhen wird, sind fluktuierende Energiequellen. Wenn sie nicht ausreichend verfügbar sind, um den jeweils gegebenen Strombedarf zu decken, wird Strom auch aus Speichern geliefert werden müssen, die zuvor bei reichlichem Angebot an Sonne und Wind aufgeladen wurden. Je höher der Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen ist, desto höher wird der Speicherbedarf ausfallen. Speicherung ist aber immer mit Wandlungsverlusten verbunden, die verhindern, dass der Primärenergiebedarf bei sehr hohen Deckungs-raten durch erneuerbare Energien weiter sinkt. Für die CO₂-Emissionen aber gilt, dass sie auch bei sehr hohen Deckungs-raten weiter minimiert werden können.

Bemerkenswert ist, dass der Stromverbrauch zwar erst einmal leicht rückläufig ist, dass er aber längerfristig wieder ansteigen wird. Der Rückgang ist auf Effizienzmaßnahmen in den verschiedenen Nutzungsbereichen zurückzuführen. Der nachfolgende Anstieg hingegen rührt daher, dass Strom zunehmend auch in Bereichen eingesetzt wird, in denen dies bislang weniger der Fall ist – in der Individual-

mobilität und in der Wärmebereitstellung. Indem der regenerativ erzeugte Strom andere Energieträger in verschiedenen Bereichen des Energiesystems verdrängt, können weitere Effizienzgewinne erzielt werden. Wir wollen dies im Folgenden für die Mobilität und den Raumwärmebereich näher erläutern.

Mobilität

Strom kann in der Individualmobilität eingesetzt werden und fossile Kraftstoffe ersetzen. Der dadurch mögliche Effizienzgewinn ist beträchtlich. Verbrennungsmotoren in Autos wandeln durchschnittlich nur 20 bis 25 % der aufgewandten Primärenergie in mechanische Nutzenergie. Elektromotoren hingegen haben sehr geringe Verluste.

Ob ein solcher Effizienzgewinn aber tatsächlich realisiert wird, hängt davon ab, wie der Strom erzeugt wird, mit dem die Elektrofahrzeuge angetrieben werden. Gehen wir vom momentanen Strommix in Deutschland aus, in dem der größte Teil des Stroms aus fossil betriebenen thermischen Kraftwerken stammt, dann ist mit dem Einsatz von Elektromotoren kaum ein Effizienzgewinn zu erzielen. Auch die CO₂-Bilanz wäre nicht besser, denn die Emissionen in der aktuellen Stromerzeugung sind immer noch beträchtlich. Wird jedoch der Strom verstärkt aus erneuerbaren Quellen gewonnen, dann kommt das Effizienzpotenzial der Elektromobilität zunehmend zum Tragen. Und dann gehen auch die mit der Mobilität verbundenen Emissionen drastisch zurück.

Abbildung 3 zeigt das Wachstum der aus erneuerbaren Quellen bereitgestellten Endenergie für den Mobilitätssektor entsprechend dem Szenario des Energiekonzepts 2050.

Der Gesamt-Endenergiebedarf sinkt aufgrund von Effizienzgewinnen. Der beschriebene Effizienzeffekt durch die Elektromobilität spielt dabei eine wichtige Rolle. Im Jahr 2050 wird die Endenergie komplett aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen. Als Endenergieträger dienen Strom, Wasserstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge und Methan und flüssige chemische erneuerbare Energieträger für Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren. Letztere werden vor allem für den Schwertransport benötigt.

Bei der im Diagramm dargestellten Verteilung der Energieträger muss berücksichtigt werden, dass der obere Teil der Säule, Strom und Wasserstoff, weit mehr mechanische Antriebsenergie liefert als der untere Teil, die chemischen Energieträger. Denn insbesondere Elektromotoren nutzen den Endenergieträger Strom wesentlich effizienter als Verbrennungsmotoren die chemischen Endenergieträger.

Raumwärme

Beim Wärmebedarf im Gebäudesektor wird davon ausgegangen, dass er durch zunehmend bessere Wärmedämmung in der Zukunft stark sinken wird (Abbildung 4). Der im Jahr 2050 noch anfallende Heizwärmebedarf wird in dem betrachteten Szenario vollständig aus erneuerbaren Quellen gedeckt: Umweltwärme wird über elektrische Wärmepumpen ver-

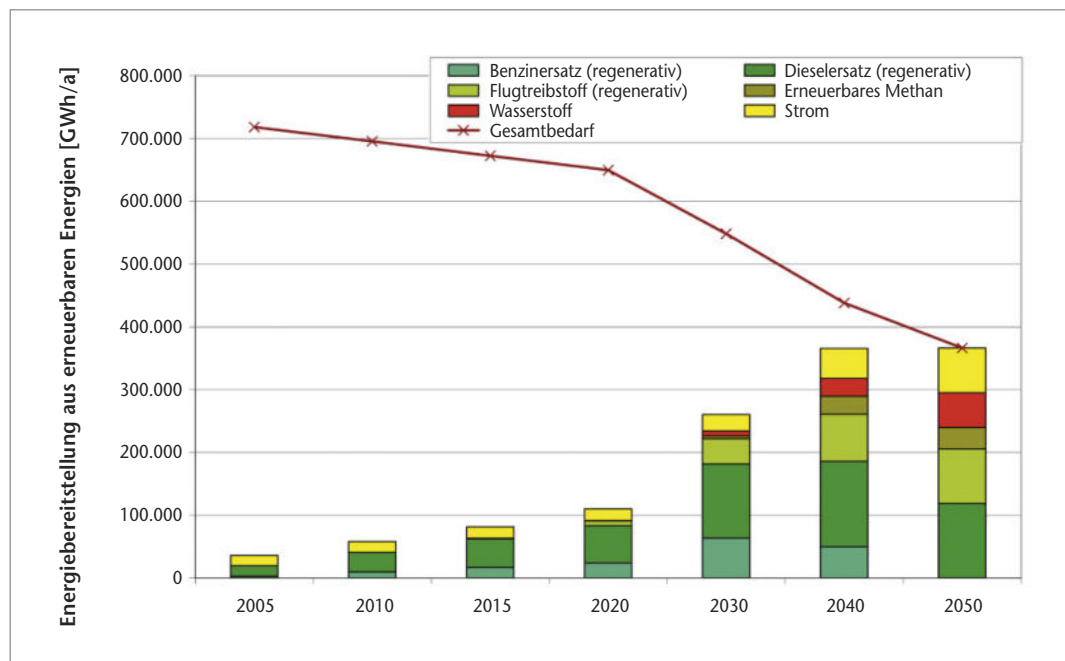


Abbildung 3
Endenergiebereitstellung aus erneuerbaren Energien für den Verkehrssektor
Quelle: ZSW

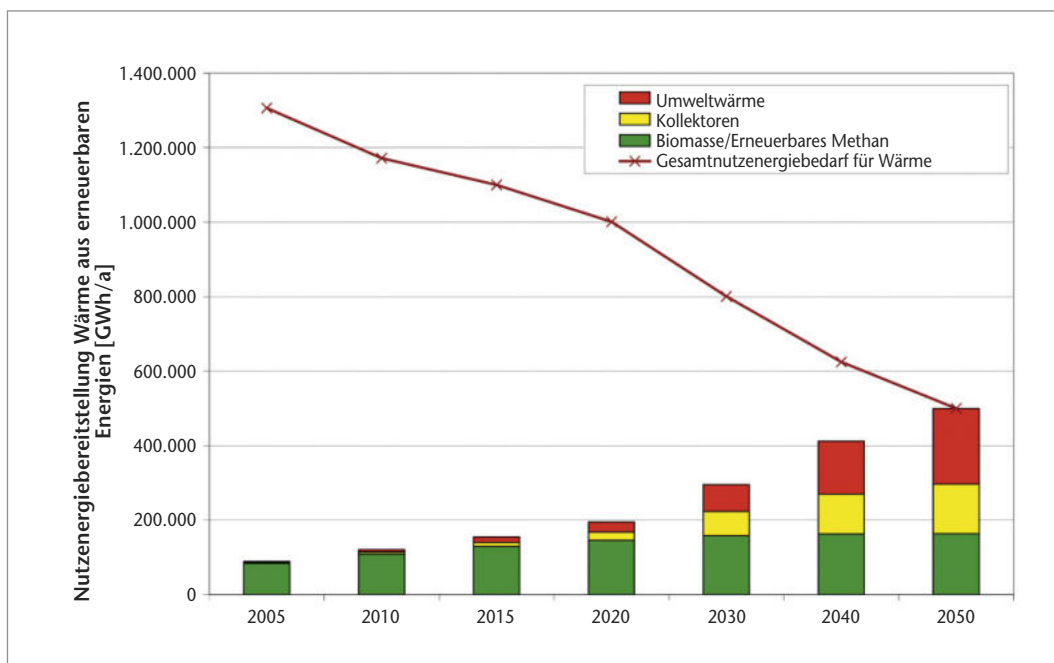


Abbildung 4
Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien für die Gebäudeheizung
Quelle: ZSW

fugbar gemacht, Solarstrahlung wird über Kollektoren genutzt und außerdem werden Biomasse und erneuerbares Methan eingesetzt. Bei Letzteren wird die Wärme insbesondere aus Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung genutzt.

Betrachten wir nun den Energiebedarf für die elektrischen Wärmepumpen etwas näher. Wärmepumpen können mit dem Einsatz elektrischer Energie die dreis- bis vierfache Menge an Wärme bereitstellen. Darin liegt ihr Effizienzpotenzial. Wie stark dieses Potenzial realisiert wird, hängt jedoch maßgeblich davon ab, wie der Strom erzeugt wird, der für ihren Betrieb eingesetzt wird. Geht man von der gegenwärtigen Stromerzeugung aus, dann ist mit dem Einsatz elektrischer Wärmepumpen nur eine geringe Primärenergieeinsparung gegenüber dem Betrieb konventioneller Heizungsanlagen zu erzielen. Und bei den CO₂-Emissionen ist bei dem gegenwärtig noch hohen Anteil von Kohlekraftwerken ebenfalls nur eine geringe Reduktion zu erwarten. Wird der Strom jedoch zunehmend aus erneuerbaren Quellen gewonnen, dann kann der Primärenergieaufwand für die Heizwärmebereitstellung stark gesenkt werden. Und in noch stärkerem Maße sinken auch die heizungsbedingten CO₂-Emissionen.

Bei der heutigen Stromerzeugung bewirkt der Einsatz elektrischer Wärmepumpen also eine ebenso geringe Senkung des Primärenergiebedarfs und der CO₂-Emissionen wie der Einsatz von Elektrofahrzeugen. Doch die frühzeitige Entwicklung hin zu elektrischen Wärmepumpen und zur Elektromobilität ist ein wichtiger Schlüssel für eine erfolgreiche Energiewende.

Wird nämlich der Strom zukünftig zu weit höheren Anteilen aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen, dann führt der Einsatz von elektrischen Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen zu beträchtlichen Effizienzgewinnen im Energiesystem und zu weiteren Emissionssenkungen.

Große Anteile erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung führen zu neuen Herausforderungen für das Versorgungssystem. Beruht nämlich die Stromerzeugung weitgehend auf den fluktuierenden Energiequellen Sonne und Wind, wird die Koordination von Stromerzeugung und -nachfrage eine wesentlich komplexere Aufgabe. Dieses System ist durch zeitweilige Stromüberschüsse und zeitweilige Deckungslücken gekennzeichnet, die auf möglichst effiziente Weise geschlossen werden müssen. Dazu können verschiedene Wege beschritten werden.

So können leistungsfähige und möglichst weit reichende Übertragungsnetze, die auch Landesgrenzen überschreiten, die Nutzung von Ausgleichseffekten ermöglichen, wie sie etwa zwischen geografisch weit verteilten Windkraftanlagen auftreten. Eine über ganz Europa reichende Flaute ist weit weniger wahrscheinlich als eine Flaute in ganz Norddeutschland. Außerdem können weit reichende Übertragungsnetze regelbare regenerative Kraftwerkskapazitäten, die in Deutschland nur sehr begrenzt zur Verfügung stehen werden, nutzbar machen. Dies gilt etwa für Speicherkraftwerke im wasserreichen Norden ebenso wie für zukünftige solarthermische Kraftwerke im sonnenreichen Süden.

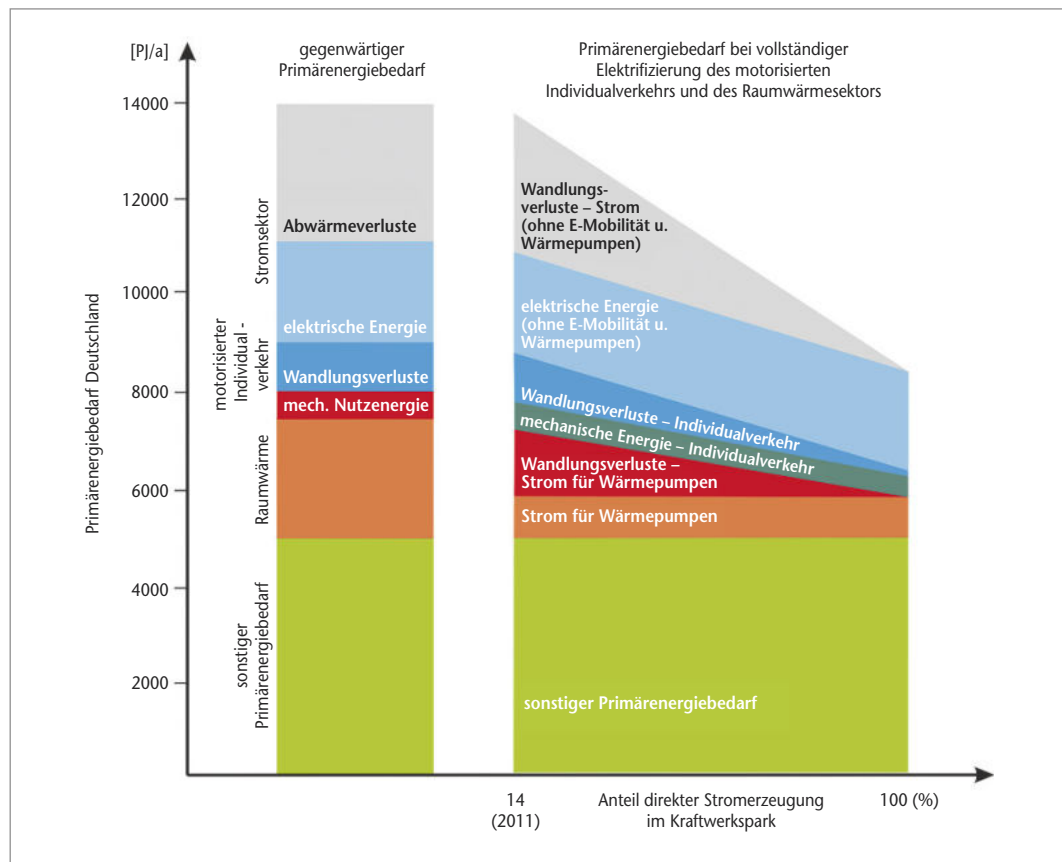


Abbildung 5
Links:
Gegenwärtiger
Primärenergiebedarf
in Deutschland
Rechts:
Entwicklung des
Primärenergiebedarfs
bei vollständiger Elektrifizierung des
motorisierten Individualverkehrs
und des Raumwärmesektors
durch Wärmepumpen
in Abhängigkeit vom Anteil
direkter Stromerzeugung

Die sinnvolle Kombination von Erzeugungskapazitäten verschiedener Art, um zu jeder Jahreszeit und unter allen klimatischen Bedingungen genügend Strom bereitstellen zu können, ist eine weitere wesentliche Strategie für hohe Versorgungssicherheit. So können Solarenergie und Windenergie derart im System gewichtet werden, dass sie gemeinsam möglichst gut zu einer sicheren Stromversorgung beitragen. Außerdem wird Biomasse eine wichtige Funktion als chemischer Energiespeicher übernehmen und dazu beitragen, die Stromversorgung zu sichern, wenn Sonne und Wind nicht ausreichend zur Verfügung stehen.

Doch auch wenn die Übertragungsnetze gut ausgebaut und verschiedene Stromerzeugungsanlagen optimal kombiniert sind, wird es in einem regenerativ dominierten System auch notwendig sein, Strom aus Überschusszeiten zu speichern und für Zeiten mit mangelndem Energieangebot verfügbar zu machen. Die gegenwärtigen Pumpspeicherkapazitäten werden dazu nicht ausreichen. Neue Speichertechnologien werden eingesetzt werden müssen. Dazu können Druckluftspeicher in Kavernen gehören oder auch neuartige Pumpspeichersysteme. An der Entwicklung weiterer neuartiger Speichersysteme wird gearbeitet.

Zur Langzeitspeicherung des aktuell nicht benötigten Stroms bietet sich die Erzeugung von Wasserstoff durch Elektrolyse an. Der Wasserstoff kann dann weiter zu Methan gewandelt werden, das vielfältig im Energiesystem angewendet werden kann. Mit Methan als Speichermedium kann auf die bestehende Erdgasinfrastruktur mit ihren Speicher- und Übertragungskapazitäten zurückgegriffen werden.

Wie groß die Effizienzeffekte werden können, wenn der Strom komplett aus Sonne, Wind und Wasser erzeugt wird und andere Energieträger möglichst weitgehend ersetzt, ist in *Abbildung 5* dargestellt. Die Säule links im Diagramm zeigt den gegenwärtigen Primärenergieverbrauch. Rechts daneben ist dargestellt, wie sich der Primärenergiebedarf verhält, wenn elektrische Energie möglichst umfangreich im Wärme- und im Verkehrssektor eingesetzt wird. Dabei wird von einem Anteil an direkter Stromerzeugung von 14% ausgegangen, der 2011 erreicht wurde.¹

1 Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen erreichte 2011 den Wert von 20%. Bei den angegebenen 14% direkter Stromerzeugung ist die Erzeugung aus Biomasse nicht mit eingerechnet, da diese – analog fossiler Stromerzeugung – auf Verbrennungsprozessen beruht und den Weg über thermische Energie nimmt (und somit nicht zur direkten Stromerzeugung gehört). Abwärmeverluste sind auch bei der Stromerzeugung aus Biomasse gegeben.

Dass die linke Spitze der Darstellung mit dem gegenwärtigen Primärenergiebedarf fast übereinstimmt, ist dabei nicht notwendig. Faktisch hat jedoch eine Elektrifizierung des Wärme- und Verkehrssektors unter den gegenwärtigen Bedingungen der Stromerzeugung nur einen geringen Effizienzeffekt. Wird aber die Stromerzeugung weiter auf erneuerbare Energien umgestellt, dann ergeben sich große Effizienzgewinne nicht nur durch die Vermeidung von Abwärme bei der Stromerzeugung selbst, sondern auch durch die Ersetzung fossiler Brennstoffe im Verkehrs- und Wärmesektor durch den direkt erzeugten Strom.

Wird der Strom komplett direkt aus Sonne, Wind und Wasser erzeugt und im Energiesystem in der erläuterten Weise umfassend eingesetzt, können etwa 40% des gegenwärtigen Primärenergiebedarfs eingespart werden. Das bedeutet, dass die Zielmarke der 50% Primärenergieeinsparung bis 2050 zwar ehrgeizig, aber doch erreichbar ist.

Denn *Abbildung 5* beinhaltet nur den Effekt der direkten Stromerzeugung und des Einsatzes des direkt erzeugten Stroms in Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen. Weitere Effizienzmaßnahmen, wie z. B. bessere Gebäudedämmungen, sind in dieser Darstellung noch gar nicht enthalten. Unter Einbeziehung all der anderen möglichen Effizienzmaßnahmen erscheint eine Primärenergieeinsparung um 50% in der Tat erreichbar. Der größte Anteil der Effizienzgewinne bleibt dabei aber dem konsequenten Ausbau der erneuerbaren Energien vorbehalten.

Die industrielle Revolution beruhte auf der Nutzung des Feuers – z. B. durch die Entwicklung der Dampfmaschine. Heute jedoch müssen wir bei der notwendigen Transformation der Energiesysteme das Feuer wieder ein Stück weit verbannen. Es muss aus den Kraftwerken verbannt werden, indem wir dazu übergehen, Strom direkt zu erzeugen, es muss aus Fahrzeugen verbannt werden, indem wir sie elektrisch betreiben, und es muss aus den Heizungen verbannt werden, indem wir mit elektrischen Wärmepumpen, der Abwärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung oder Solarkollektoren heizen. Gelingt dies, dann können die zunächst sehr ambitioniert erscheinenden Effizienzziele erreicht werden.

Literatur

FVEE 2010: Energiekonzept 2050. Eine Vision für ein nachhaltiges Energiekonzept auf Basis von Energieeffizienz und 100% erneuerbaren Energien
http://www.fvee.de/fileadmin/politik/10.06.vision_fuer_nachhaltiges_energiekonzept.pdf

BMU 2012: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global

http://www.fvee.de/fileadmin/publikationen/Politische_Papiere_anderer/12.03.29.BMU_Leitstudie2011/BMU_Leitstudie2011.pdf